

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-38495

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成4年(1992)2月7日

G 01 V 3/175

T

7256-2C

G 01 N 24/00

7621-2J G 01 N 24/00

審査請求 未請求 請求項の数 12 (全8頁)

⑭ 発明の名称 物質の遠隔検知装置およびその方法

⑮ 特 願 平2-144568

⑯ 出 願 平2(1990)6月4日

⑰ 発 明 者 梶 田 二 郎 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内  
⑰ 発 明 者 丸 泉 琢 也 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内  
⑰ 発 明 者 三 井 泰 裕 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内  
⑰ 発 明 者 堀 田 正 生 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内  
⑰ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
⑰ 代 理 人 弁理士 中村 純之助 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

物質の遠隔検知装置およびその方法

2. 特許請求の範囲

1. 高周波パルスの発生手段と、同調回路と、送信兼受信コイルと、高周波を増幅・検知する手段とを備え、検知対象物質に励起された核四極子共鳴による信号を検知することによって該物質の検知を行う物質の遠隔検知装置において、前記送信兼受信コイルを複数に分割し、該コイルの分割個所の間に直列にコンデンサを挿入したことを特徴とする物質の遠隔検知装置。

2. 請求項1に記載の物質の遠隔検知装置において、送信兼受信コイルを、分割によって出来るコイル断片それぞれのインダクタンスが等しくなるように分割したことを特徴とする物質の遠隔検知装置。

3. 請求項1に記載の物質の遠隔検知装置において、送信兼受信コイルを、分割によって出来る

コイル断片それぞれのインダクタンスのうち少なくとも1つは他と異なるように分割したことを特徴とする物質の遠隔検知装置。

4. 請求項1ないし3のいずれか1項に記載の物質の遠隔検知装置において、コイル分割個所の間に挿入するコンデンサが、複数個すべて等しい静電容量のコンデンサであることを特徴とする物質の遠隔検知装置。

5. 請求項1ないし3のいずれか1項に記載の物質の遠隔検知装置において、コイル分割個所の間に挿入するコンデンサが、複数個のうち少なくとも1つの他とは静電容量の異なるコンデンサを含むことを特徴とする物質の遠隔検知装置。

6. 請求項1ないし5のいずれか1項に記載の物質の遠隔検知装置において、同調回路が、送信兼受信コイルに直列に接続された第1のコンデンサおよびコイル分割個所の間に直列に挿入されたコンデンサと、前記送信兼受信コイルおよびこれに直列に接続された前記第1のコンデンサ、コイル分割個所の間に直列に挿入されたコ

ンデンサからなる直列回路に並列に接続された第2のコンデンサとによって構成されていることを特徴とする物質の遠隔検知装置。

7. 請求項6に記載の物質の遠隔検知装置において、送信兼受信コイルに直列に接続される第1のコンデンサと、コイル分割箇所間に直列に挿入される各コンデンサとを、前者の共振範囲を除いて静電容量をほぼ等しくしたことを特徴とする物質の遠隔検知装置。
8. 請求項6または7に記載の物質の遠隔検知装置において、送信兼受信コイルに直列に接続される第1のコンデンサと、直列回路に並列に接続される第2のコンデンサのうち、少なくとも一方が静電容量が可変なコンデンサであることを特徴とする物質の遠隔検知装置。
9. 請求項8に記載の物質の遠隔検知装置において、静電容量が可変なコンデンサが、固定コンデンサと可変コンデンサとを並列に接続したものであることを特徴とする物質の遠隔検知装置。
10. 請求項8または9に記載の物質の遠隔検知

該コイルから遠方地点での磁場強度を増大させて信号の検知を行うことを特徴とする物質の遠隔検知方法。

### 3. 発明の詳細な説明

#### 〔産業上の利用分野〕

本発明は、核四極子共鳴 (Nuclear Quadrupole Resonance, 以下NQRと記す) を利用した物質の遠隔検知装置にかわり、特に、航空機積込み荷物等の中に隠されたプラスチック爆弾、麻薬、覚醒剤などの取締りの対象となる物質を高感度で遠隔検知するのに好適な物質の遠隔検知装置およびその方法に関する。

#### 〔従来の技術〕

従来のNQRを利用した物質の遠隔検知装置については、例えば「ジャーナル オブ モレキュラー ストラクチャー、第58巻 (1980)、第63頁から第77頁 (Journal of Molecular Structure, 58 (1980), pp63~77) に記載されている。この装置は、送信コイルとしては平直状の導線をうずね状に10巻まいた直径

装置において、同調回路と高周波を増幅・検知する手段とを制御するための同調回路コントローラを設けたことを特徴とする物質の遠隔検知装置。

11. 検知対象物質に励起された核四極子共鳴による信号を検知することによって該物質の検知を行う物質の遠隔検知方法において、検知装置として、請求項1ないし10のいずれか1項に記載の物質の遠隔検知装置を用いるとともに、送信兼受信コイルのコイル電圧を増加することなくコイル巻数を増やし、磁場強度を増大させて信号の検知を行うことを特徴とする物質の遠隔検知方法。
12. 検知対象物質に励起された核四極子共鳴による信号を検知することによって該物質の検知を行う物質の遠隔検知方法において、検知装置として、請求項1ないし10のいずれか1項に記載の物質の遠隔検知装置を用いるとともに、送信兼受信コイルのコイル電圧を増加することなくコイル軸に垂直なコイル断面積を増やし、

が10cmのコイルが用いられており、コイルから10cm程度離れた対象物質の核四極子を励起し、それによって誘起された電磁波 (NQR信号) を受信することにより、対象物質を検知することができる。

#### 〔発明が解決しようとする課題〕

しかし、上記従来技術では、対象物質を収容する荷物等が比較的大きく、送信コイルから10cm程度以上に離れた対象物質を検知しなければならない場合については配慮されていなかった。すなわち、このような遠隔検知装置では、送信および受信コイルと検知対象物質の距離がどの程度まで大きくできるかが装置の性能を決定するが、実際の荷物等の大きさから見て、この実用化距離としては20cm以上が必要である。

一般に、NQRの信号強度Sは、近似的に

$$S \propto \sin(CHT\tau) \quad \dots\dots (1)$$

で表される。ここで、Hは送信パルスの対象物質位置における磁場強度、 $T\tau$ は送信パルスのパルス幅、Cは物質によって決まる定数である。しか

しながら、後述するように、遠隔検知においてコイルと検知対象物質の距離が大きくなると、磁場強度  $H$  が急激に減衰する。一方、 $C$  は定数であり、 $T$  も物質の縦緩和時間に依存するため、無闇に大きくできない。従って、対象物質の位置においてある一定値以上の磁場強度がないと、NQR信号の強度  $S$  が著しく小さくなって、雑音と区別して検知できなくなる。

上記のように、一般に、送信コイルと対象物質の距離が大きくなると、対象物質の位置における磁場強度は減少する。この関係をソレノイドコイルの場合について示したのが次の式 (2) である。

$$H = \frac{r^2}{2(l^2 + r^2)^{3/2}} \times nI \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $H$  は磁場強度、 $r$  はコイル半径 (m)、 $l$  はコイルと対象物質の距離 (m)、 $n$  はコイルの巻数、 $I$  はコイル電流 (A) である。上式 (2) において、 $n = 2$  巻、 $r = 5$  cm (コイルの直径 10 cm) の場合の、送信コイルと対象物質の距離と、磁場強度との関係を示したのが第3図の曲線

A である。この曲線 A からわかるように、送信コイルと対象物質の距離が 10 cm のところでは NQR 信号を検知するのに必要な磁場強度が得られる場合でも、それ以上の距離では必要な磁場強度が得られなくなり、検知ができなくなる。

この問題を解決する方策として、式 (2) から、コイル電流  $I$  またはコイルの巻数  $n$  を大きくすることが考えられる。この場合の、送信コイルと対象物質の距離と、磁場強度との関係は第3図の曲線 B のようになる。しかしながら、コイルの両端に加わる電圧  $V_L$  は、 $f$  を周波数、 $L$  をコイルのインダクタンス、 $I$  をコイル電流、 $n$  をコイル巻数とすると、次式 (3)、(4)

$$V_L = 2\pi f L \times I \quad \dots\dots (3)$$

$$= c' \times n^2 \times I \quad \dots\dots (4)$$

( $c'$  はコイルと周波数によって決まる定数)

で決まるので、コイル電流  $I$  やコイル巻数  $n$  を大きくすると、コイル電圧  $V_L$  が大きくなり、放電が起こってしまうという問題がある。

また、考え得るもう一つの方策は、コイル半径  $r$  を大きくすることによって距離方向での磁場強度分布を均一化し、遠距離における磁場強度を増加させることである。ここで、 $n = 2$  巻、 $r = 20$  cm (コイルの直径 40 cm) の場合の、送信コイルと対象物質の距離と、磁場強度との関係を第3図の曲線 C に示す。しかしながら、この場合のコイルの両端に加わる電圧  $V_L$  は、次式 (5)

$$V_L = 2\pi f L \times I \quad \dots\dots (3)$$

$$= c' \times r^2 \times I \quad \dots\dots (5)$$

( $c'$  はコイルと周波数によって決まる定数)

で表されるので、この場合もまた、コイル半径  $r$  を大きくすると、コイル電圧  $V_L$  が大きくなり、放電が起こってしまうという問題がある。

このように、従来の一つながりの連続した送信コイルでは、コイルと対象物質の距離を大きくしようとしても、コイルに高電圧が発生して放電が起こるため、前述の実用化距離での対象物質の検知が不可能となり、これが NQR 法の実用化を妨

げる最大の障害となっていた。

本発明の目的は、上記従来技術の問題点を解決し、検査対象物質を収容する荷物等が比較的大きく、送信コイルと対象物質の距離が 10 cm 程度以上に離れている場合でも、荷物等の中の対象物質を効率良く励起して検知を行うことができる、高感度の NQR による物質の遠隔検知装置およびその方法を提供することにある。

〔課題を解決するための手段〕

上記目的を達成するため、本発明は、従来の一つながりの連続した送信コイルを複数個に分割し、その分割個所をコンデンサで結合して、コイル電圧の低減を図ったものである。

〔作用〕

一例として、送信コイルを 6 つに等分割し、その分割個所の間に 5 つの等容量のコンデンサを直列に挿入した場合の回路図を第2図 (a) に、該回路中の各点の電位を第2図 (b) に示す。図において、1, 3 は共振周波数調整用可変コンデンサ、1, 4 はインピーダンス調整用可変コンデンサ、

15は本発明により分割してなるコイル断片、16はコイル断片15間に挿入される挿入コンデンサである。このようにコイルを一般に $N$ に等分割すると、それぞれのコイル断片のインダクタンスは $1/N$ になるため、コイル電流を同じとすれば、式(3)から、コイル断片両端の電圧を、従来のコイルを分割しない場合(第6図(a),(b)参照)の $1/N$ に抑えることができる。従って、 $N$ 倍のコイル電流を流して、放電を起こすことなく $N$ 倍の磁場強度を得ることが可能となり、10 cm以上の距離でも、NQR信号の検知に必要な磁場強度を得ることができる。

また、他の例として、送信コイルの巻数を従来のコイルの $N$ 倍にし、そのコイルを $N^2$ に分割する方法がある。この場合、コイルの巻数を $N$ 倍にすると、式(4)から、コイル電圧は $N^2$ 倍になるが、コイルを $N^2$ に分割することにより、それぞれのコイル断片のコイル電圧を上昇させることなく、従来のコイルの場合の $N$ 倍の磁場強度を得ることができる。

ここで、検知する対象物質としては、プラスチック爆弾の主成分であるRDX(hexahydro, 1, 3, 5-trinitro, 1, 3, 5-triazine)(窒素族のNQR共振周波数5.2 MHz) 600 grを用いた。

第1図に本実施例の装置の構成を示す。まず、基準高周波発生器1により発生させた高周波と、DCパルス発生器2により発生させた矩形パルスとを高周波電力増幅器3に入力して、NQRの共振周波数と3 kHzずれた周波数を有し、パルス幅200  $\mu$ sec、パルス間隔50 msecの高周波パルス列をつくった。次に、このパルス列を、同調回路4を通して受信兼受信コイル5に入力し、パルス状の高周波磁場を対象物質7を収容する検査対象物6に照射した。

ここで、同調回路4は、共振周波数調整用可変コンデンサ13とインピーダンス調整用可変コンデンサ14(第2図参照)とで構成されており、前者によって共振周波数を対象物質7のNQR共振周波数5.2 MHzに合わせ、後者によってイン

さらに、また別の例として、送信コイルの半径を $N$ 倍にし、そのコイルを $N^2$ に分割する方法がある。この場合も、コイルの半径を $N$ 倍にすると、式(5)から、コイル電圧は $N^2$ 倍になるが、コイルを $N^2$ に分割することにより、それぞれのコイル断片のコイル電圧を上昇させることなく、従来のコイルの場合より遠距離における磁場強度を増加させることができる。

なお、コイルの分割個所に挿入される挿入コンデンサ16は、前記第2図(a)から明らかなように、共振周波数調整用可変コンデンサ13と直列に接続され、この回路のキャパシタンス成分は直列に接続されたこれらコンデンサの合成容量となるので、所望の調整範囲の共振周波数が得られるように、挿入コンデンサおよび共振周波数調整用可変コンデンサ等の静電容量を決定する必要がある。

#### 〔実施例〕

以下、本発明による物質の遠隔検知装置の第1の実施例を第1図から第4図により説明する。こ

ピーダンスを高周波電力増幅器3と低雑音増幅器8のインピーダンスに合わせている。

また、送信兼受信コイル5としては、直径10 cm、巻数2のソレノイドコイルを6つのコイル断片15に等分割し、そのコイル断片15の間に静電容量の等しい5つの挿入コンデンサ16を直列に接続したものをを用いた。なお、5つの挿入コンデンサ16と共振周波数調整用可変コンデンサ13の合計の静電容量を、コイルを分割しない場合の共振周波数調整用可変コンデンサの静電容量のほぼ6倍とし、上記6つのコンデンサの直列合成容量が、コイルを分割しない場合の共振周波数調整用可変コンデンサの静電容量と等しくなるようにして、共振周波数が変化しないようにした。

このようにコイルを分割することにより、コイル1つ当たり(上記コイル断片15に相当)のインダクタンスが小さくなるため、そのコイルの両端にかかるコイル電圧を小さくできる。それと同時に、共振周波数を変化させることなく共振周波数調整用可変コンデンサ14の静電容量を大きく

できるため、該コンデンサの両端電圧も小さくできる。第2図(a)に同調回路4を含めた送信兼受信コイル5の回路を示すが、上記のような結果、回路の各点の電位分布は第2図(b)のようになり、コイル1つ(上記コイル断片15に相当)および共振周波数調整用可変コンデンサ13の両端に加わる電圧を、第6図(a),(b)に示したコイルを分割しない場合の1/6にできる。

上記の結果、放電を起こすことなくコイルに流せる電流は従来の6倍となり、磁場強度も従来の6倍とすることができ、送信兼受信コイル5と対象物質7との距離が20cmのところまで、NQR信号の検知に必要な磁場強度が得られるようになった。第3図の曲線Bは、この場合の距離と磁場強度との関係を示したものである。

さて、第1図において、照射した高周波パルスによって対象物質7に誘起された電磁波(NQR信号)は、送信兼受信コイル5により受信し、受信信号は同調回路4を通した後、低雑音増幅器8で増幅した。さらに、その信号を、位相検波器9

において、基準高周波発生器1の発生する高周波を用いて位相検波した後、低周波増幅器10で再び増幅し、その出力をディジタル加算器11で1024回程度加算した。

以上のようにして、送信兼受信コイル5と対象物質7との距離が20cmのとき得られたNQRのFID(Free Induction Decay)信号の例を第4図(a)に示す。また、このFID信号をさらにデータ処理装置12でフーリエ変換して得られたパワースペクトルの例を第4図(b)に示す。このように、対象物質7からの約3kHzのNQR信号を、雑音と明らかに区別して検知できた。

以上述べたように、本実施例によれば、放電を起こすことなく送信コイルに流せる電流が従来の6倍となり、磁場強度も従来の6倍となる。その結果、NQR信号の検知に必要な磁場強度が得られる距離が従来の10cm程度から20cmまで伸び、送信兼受信コイル5と対象物質7の距離が20cmのところまで、対象物質の検知が可能となった。

次に、本発明の第2の実施例を前記第3図を参

照して説明する。なお、本実施例が前記第1の実施例と異なる点は送信兼受信コイル5のみであるので、その他の部分の説明は省略する。

本実施例においては、送信兼受信コイル5として、直径は前記第1の実施例と同一の10cmであるが、巻数は6倍の12巻のソレノイドコイルを用いた。しかし、このままではコイル電圧が36倍になることが予想されたため、コイルを36のコイル断片に等分割し、そのコイル断片の間に35個の静電容量の等しいコンデンサを直列に挿入した。これにより、放電を起こすことなく、コイル電流は同一のままで、6倍の磁場強度を得ることができた。その結果、本実施例においても、前記第1の実施例と同様に、送信兼受信コイル5と対象物質7の距離が20cmのところまでNQR信号の検知に必要な磁場強度が得られるようになり、対象物質7の検知が可能となった。なお、この場合を、距離と磁場強度の関係は、第3図の曲線Bのようになる。

また、本実施例においては、前記第1の実施例

のようにコイル電流を増やす必要がないため、コイル、コイルに直列に挿入するコンデンサ、共振周波数調整用可変コンデンサ、およびインピーダンス調整用可変コンデンサ等の回路部品の電流容量が小さくて済むという利点がある。

次に、本発明の第3の実施例を前記第3図を参照して説明する。なお、本実施例が前記2つの実施例と異なる点はやはり送信兼受信コイル5のみであるので、その他の部分の説明は省略する。

本実施例においては、送信兼受信コイル5として、巻数は前記第1の実施例と同一の2巻であるが、直径が4倍の40cmのソレノイドコイルを用いた。しかし、このままではコイル電圧が16倍になることが予想されたため、コイルを16のコイル断片に等分割し、そのコイル断片の間に15個の静電容量の等しいコンデンサを直列に挿入した。これにより、放電を起こすことなく、コイル電流は同一のままで、磁場強度分布を均一化し、送信兼受信コイルから遠距離における磁場強度を大きくできるといった。その結果、本実施例

においても、前記2つの実施例と同様に、送信兼受信コイル5と対象物質7の距離が20cmのところまでNQR信号の検知に必要な磁場強度が得られるようになり、対象物質7の検知が可能となった。なお、この場合の、距離と磁場強度の関係は、第3図の曲線Cのようになる。

また、本実施例においては、前記第2の実施例と同様にコイル電流を増やす必要がないため、コイル、コンデンサ等の回路部品の電流容量が小さくて済むという利点がある。

さらに、本実施例の場合には、第3図の曲線Cに示すごとく、磁場強度分布が均一化されて、近距離における不必要に大きな磁場強度が低減されるため、磁場エネルギーの利用効率が高まり、第1図に示した高周波電力増幅器3の出力が、前記2つの実施例の場合に比べて小さくて済むという利点がある。

さらにまた、本実施例の場合には、コイルは直径が40cm、コイル軸に垂直な断面積が1257cm<sup>2</sup>と大きいので、最大径が40cm以内である手荷

ンピーダンスと共振周波数を自動調整できるという利点がある。

以上述べた4つの実施例では、いずれもコイルを等分割し、その間に静電容量の等しいコンデンサを挿入する場合を示したが、必ずしもコイルを等分割し、等容量のコンデンサを挿入する必要はない。ただし、そのような場合には、インダクタンスの最も大きいコイル断片および静電容量の最も小さいコンデンサに最大の電圧がかかるため、これらの部位で放電が起こらないように留意する必要がある。

また、同調回路4を構成している共振周波数調整用可変コンデンサ13およびインピーダンス調整用可変コンデンサ14は、必ずしも単一の可変コンデンサのみで構成する必要はなく、種々の容量をもつ複数の固定コンデンサを付け換えて用いてもよく、固定コンデンサと可変コンデンサとを並列に接続したものを用いてもよい。この場合には、高価な可変コンデンサが不要となったり、あるいは可変範囲の狭いコンデンサで済んだため、装

物等の検査対象物6を送信兼受信コイル5の内部に置くことが可能となる。従って、磁場強度が最大でNQR信号の最も大きくなる部位を利用できて効率的な上、装置全体を小型化できるという利点がある。

最後に、本発明の第4の実施例を第5図を用いて説明する。本実施例は、前記第1の実施例の装置に同調回路コントローラ17を付加したもので、その構成を第5図(a)に示す。

この同調回路コントローラ17は、高周波電力増幅器3と低雑音増幅器8とでインピーダンス整合がとれるようにインピーダンス調整用可変コンデンサ14を自動調整するとともに、ディジタル加算器11またはデータ処理装置12から得られるNQR信号が最大になるように共振周波数調整用可変コンデンサ13を自動調整する役目をもつ。

その結果、本実施例においては、前記第1の実施例の効果に加えて、荷物等の検査対象物6が種々に変わり、インピーダンスと共振周波数とが変化しても、最大のNQR信号が得られるようにイ

置がより安価になるという利点がある。

さらに、以上述べた4つの実施例では、対象物質7がRDXの場合について説明したが、RDXのほかに、TNT（トリニトロトルエン）等の爆薬や、コカイン等の麻薬、覚醒剤など、核四陽子共振を起こす物質も、同様に検知可能である。

（発明の効果）

本発明によれば、NQRを利用した物質の遠隔検知において、放電を起こすことなく、NQR信号の検知に必要な磁場強度が得られる送信コイルと対象物質の距離を従来技術に比べて大きくできる。その結果、荷物等の検査対象物が大きくなり、送信コイルと対象物質の距離が大きくなっても、対象物質の検知を行うことができる。

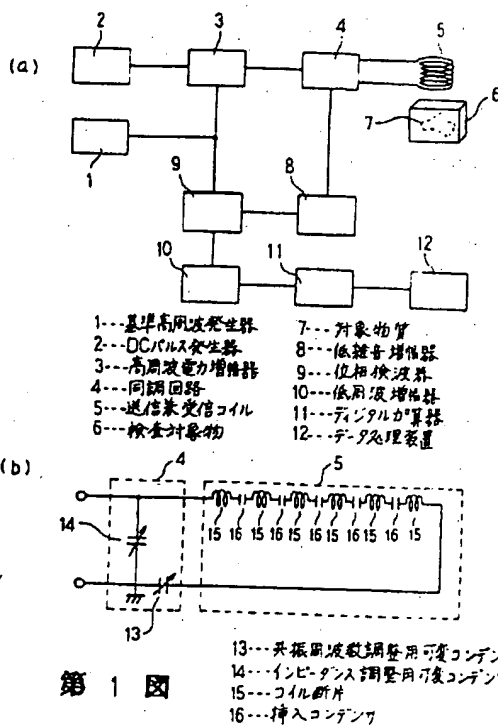
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図(a)は本発明の第1から第3の実施例の装置の構成図、同図(b)は第1の実施例における同調回路と送信兼受信コイルとの詳細を示す回路図、第2図(a)および(b)はそれぞれ第1の実施例における同調回路と送信兼受信コイル

の回路図およびその各点での電位分布図、第3図は種々な場合の送信コイルからの距離と磁場強度の関係の例を示す磁場強度分布図、第4図(a)および(b)は本発明の実施例において、送信兼受信コイルと対象物質との距離が20cmのときに得られたNQRのそれぞれFID信号およびそのパワースペクトルの例を示す図、第5図(a)および(b)はそれぞれ本発明の第4の実施例の装置の構成図およびその同調回路と送信兼受信コイルとの詳細を示す回路図、第6図(a)および(b)はそれぞれ従来の送信兼受信コイルと同調回路を示す回路図およびその各点での電位分布図である。

符号の説明

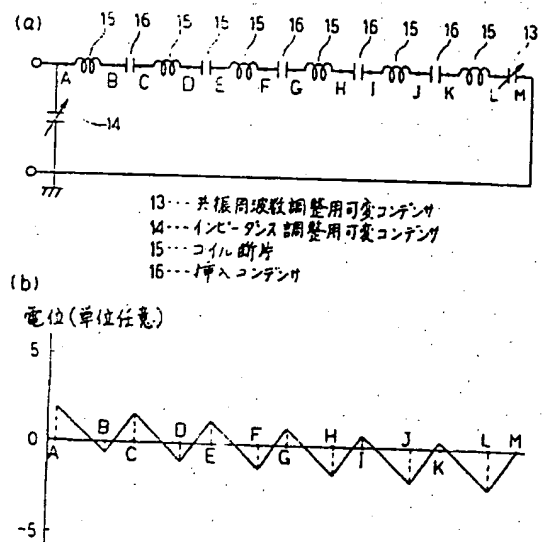
- 1…基準高周波発生器 2…DCパルス発生器  
3…高周波電力増幅器 4…同調回路  
5…送信兼受信コイル 6…検査対象物  
7…対象物質 8…低雑音増幅器  
9…位相検波器 10…低周波増幅器  
11…デジタル加算器 12…データ処理装置



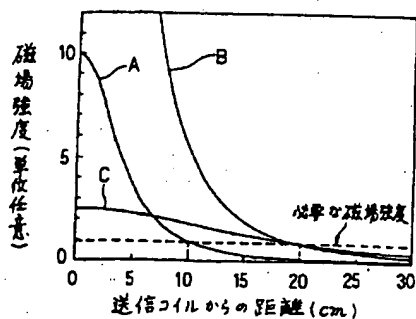
第1図

- 12…データ処理装置  
13…共振周波数調整用可変コンデンサ  
14…インピーダンス調整用可変コンデンサ  
15…コイル断片 16…挿入コンデンサ  
17…同調回路コントローラ  
18…従来の送信兼受信コイル

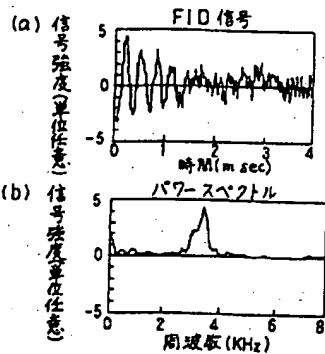
代理人 井理士 中村 純之助



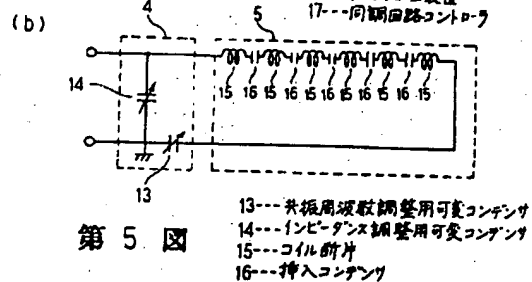
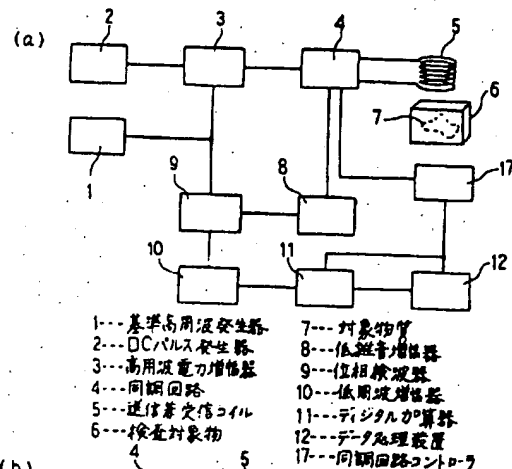
第2図



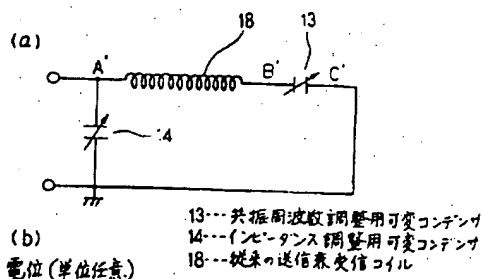
第 3 図



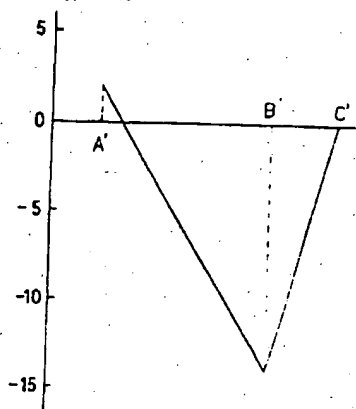
第 4 図



第 5 図



第 6 図



第 6 図



Japanese Patent number H04-038495

Patent title: Device and method for remote detection of substances

#### Claims

1. A device for remote detection of substances, comprising a tuning circuit, a transmitting / receiving coil and a means to amplify and detect RF wave, for detecting specific substances by measuring NQR signals excited in the object to be inspected, said device having a new feature that the transmitting / receiving coil is divided into several segments and condensers are inserted in serial between the segments.
2. The device of claim 1, wherein the divided segments of said transmitting / receiving coil have all the same inductance.
3. The device of claim 1, wherein said transmitting / receiving coil is divided so that at least one of the divided segments has an inductance different from the others.
4. The device of claims 1 or 3, wherein said condensers between the coil segments have the same capacitance as the others.
5. The device of claims 1 or 3, wherein at least one of the said condensers inserted between the segment of the said coil has different capacitance from the others.
6. The device of claims 1 or 5, wherein said tuning circuit comprises (1) the first condenser connected in serial to the transmitting / receiving coil, and (2) the second condenser connected in parallel to the serial circuit consisting of (i) the transmitting / receiving coil, (ii) the first condenser connected in serial to the transmitting / receiving coil and (iii) the condensers between the coil segments.
7. The device of claim 6, wherein the first condenser connected in serial to the transmitting / receiving coil has nearly the same capacitance as each condenser between the coil segments, within the fine-tuning range of the first condenser.
8. The device of claim 6 or 7, wherein at least one of the said two condensers, (1) the first condenser connected in serial to the transmitting / receiving coil and (2) the second condenser connected in parallel to the serial circuit is a variable condenser.
9. The device of claim 8, wherein said variable condenser comprises a fixed condenser and a variable condenser connected in parallel to each other.
10. The device of claim 8 or 9, wherein the device has a tuning-circuit controller which controls (i) the tuning circuit and (ii) the method to amplify and detect the RF wave.
11. A method for remote detection of substances, which is used to detect substances by measuring NQR signals excited in the object to be inspected, said method uses a device

of claim 1 or 10, and further detects the signals by increasing the strength of magnetic field, by means of increasing the number of turns in the transmitting / receiving coil without increasing the coil voltage.

12. The method for remote detection of substances, which is used to detect substances by measuring NQR signals excited in the object to be inspected, said method uses a device of claim 1 or 10, and further detects the signals by increasing the strength of magnetic field at a point far from the said transmitting / receiving coil, by means of increasing the cross section of the said coil without increasing the coil voltage.

## DETAILED DESCRIPTION

### [Industrial applications]

This invention relates to a device for remote detection of substances by using nuclear quadrupole resonance (hereafter denoted by NQR), in particular, to a device and method for remote detection of substances which are suitable for highly sensitive remote detection of the prohibited goods such as plastic bombs and drugs hidden in the aircraft luggage.

### [Description of the Prior Art]

The conventional device for remote detection of substances by using NQR is disclosed, for example, in the Journal of Molecular Structure, vol. 58, (1980) pp. 63-77. In the article, the device comprised of a transmission coil made by winding a flat conducting tape 10 turns into a spiral form of 10 cm in diameter. The coil excites nuclear quadrupole moment in the object to be inspected that is placed about 10 cm away from the coil. The device detects the substances of interest by receiving electromagnetic wave (NQR signal) induced by the excitation of nuclear quadrupole moment.

### [Problem(s) to be Solved by the Invention]

The said prior art, however, did not consider the situation where the object to be inspected is relatively large and is placed more than 10 cm away from the transmission coil. In such a device for remote detection of substances, the performance of device is determined by the distance between the object to be inspected and the transmitting / receiving coil. Considering the size of the real luggage, in order for the devices to be practical, the distance need to be more than 20 cm.

In general, NQR signal intensity  $S$  is approximately given as

$$S \propto \sin(CHTv), \quad (1)$$

where  $H$  is the intensity of magnetic field of transmitted pulse at the object to be inspected,  $Tv$  is the pulse width of transmitted pulse.  $C$  is a constant characteristic of specific materials. As will be explained later, when the distance between the coil of the remote detection device and the object to be detected becomes larger, the intensity of magnetic field,  $H$ , shows sharp decrease. On the other hand, since  $C$  is a constant and  $Tv$  is dependent on the spin relaxation time specific to materials, these values cannot be

increased infinitely. Therefore, if the intensity of magnetic field at the object to be detected,  $H$ , is less than a certain level, NQR signal intensity,  $S$ , becomes extremely small and cannot be distinguished from noise, and hence, the NQR signal cannot be detected.

As explained above, generally, as the distance between the transmission coil and the object to be detected becomes large, the intensity of magnetic field at the object becomes small. This relation is expressed with the following equation for a solenoid coil;

$$H = r^2 / [2(l^2 + r^2)]^{3/2} \times nI \quad (2)$$

where  $H$  is the intensity of magnetic field,  $r$  is the coil radius [m],  $l$  is the distance between the coil and the object [m],  $n$  is the number of turns in the coil, and  $I$  is the coil current [A]. The curve A in Drawing 3 shows the intensity of magnetic field,  $H$ , as a function of the distance between the coil and the object,  $l$ , when  $n = 2$  turns and  $r = 5$  cm (the diameter of the coil is 10 cm) in Equation (2). From the curve A, it is evident that, even when the intensity of magnetic field is sufficient to detect NQR signals at  $l = 10$  cm, the intensity of magnetic field becomes too small to detect NQR signals at  $l > 10$  cm.

According Equation (2), a method to solve this problem is to increase the number of turns in the coil,  $n$ . The curve B in Drawing 3 shows the relation between the intensity of magnetic field,  $H$ , and the distance between the coil and the object,  $l$ , when the number of turns in the coil,  $n$ , is increased. The voltage applied to the coil,  $V_L$ , is given as

$$V_L = 2\pi fLI \quad (3)$$

$$= c' n^2 I \quad (4)$$

where  $f$  is the frequency,  $L$  is the inductance of the coil,  $I$  is the coil current,  $n$  is the number of turns in the coil, and  $c'$  is a constant determined by the coil and frequency. Hence, when the number of turns in the coil,  $n$ , or the coil current,  $I$ , is increased, the coil voltage  $V_L$  becomes large, leading to the occurrence of electric discharge.

Another possible method to solve the aforementioned problem is to increase the coil radius,  $r$ , to make an uniform distribution of the intensity of magnetic field in the direction of distance, and to increase the intensity of magnetic field at farther distance. The curve C in Drawing 3 shows the intensity of magnetic field,  $H$ , as a function of the distance between the coil and the object,  $l$ , when  $n = 2$  turns and  $r = 20$  cm (the diameter of the coil is 40 cm). However, the coil voltage  $V_L$  is given as

$$V_L = 2\pi fLI \quad (5)$$

$$= c'' r^2 I \quad (6)$$

where  $f$  is the frequency,  $L$  is the inductance of the coil,  $I$  is the coil current,  $n$  is the number of turns in the coil, and  $c''$  is a constant determined by the coil and frequency. Hence, when the radius of the coil,  $r$ , is increased, the coil voltage  $V_L$  again becomes large, leading to the occurrence of electric discharge.

As explained above, for conventional transmission coils consisting of one piece of coil, the distance between the coil and the object to be detected cannot be increased, because the increase in magnetic field at a distance causes high voltage in the coil, which results in the occurrence of electric discharge and hence disables detection of NQR signals. This has been the major problem for the practical application of NQR method to remote detection of substances.

The aim of this invention is to solve the aforementioned problem of conventional technology and to provide a new device and method for remote detection of substances with which, even when the object to be inspected is relatively large and the distance between the transmission coil and the object is larger than 10 cm, the substances of interest contained in the object can be efficiently excited and detected by using highly sensitive NQR.

#### [Means for Solving the Problem]

In order to achieve the aim, in this invention, conventional transmission coils consisting of one piece of coil are divided into several segments, and the segments are connected in series with each other via condensers, so that the increase in coil voltage is prevented.

#### [Function]

As an example, Drawing 2(a) shows the circuit diagram of the case where a transmission coil is divided into 6 identical segments and five identical condensers are inserted in series between the segments. Drawing 2(b) shows the voltage at each point in the said circuit. In Drawing 2(a), 13 is a variable condenser for resonance frequency adjustment, 14 is a variable condenser for impedance adjustment, 15s are segments of the coils divided as claimed in this invention, and 16s are condensers inserted in between the coil segments.

When the coil is divided into  $N$  parts in this manner, the inductance of each segment becomes  $1/N$  of the original value the coil had prior to the segmentation. Therefore, according to the Equation (3), when the same coil current is used, the coil voltage can be reduced down to  $1/N$  of the original value (see Drawings 6 (a) & (b) for the case the coil is not segmented). As a result, it becomes possible to apply  $N$  times stronger coil current to obtain  $N$  times stronger magnetic field without causing electric discharge. As a consequence, magnetic field, which is sufficiently strong to detect NQR signals, can be obtained at a distance farther than 10 cm from the coil.

Another example is to increase the number of turns of the coil  $N$  times and then to divide the coil into  $N^2$  segments. In this case, Equation (4) predicts that, when the number of turns becomes  $N$  times higher, the coil voltage becomes  $N^2$  times higher. However, by dividing the coil into  $N^2$  segments, magnetic field can be  $N$  times stronger than the case where the coil is not segmented, without increasing the coil voltage of each segment.

Yet another example is to multiply the radius of the coil  $N$  times and then to divide the coil into  $N^2$  segments. In this case, Equation (5) predicts that, when the coil radius becomes  $N$  times larger, the coil voltage becomes  $N^2$  times higher. However, by dividing the coil into  $N^2$  segments, magnetic field at farther distance can become stronger than the case prior to the segmentation of the coil, without increasing the coil voltage of each segment.

It should be noted that, the condensers inserted in serial between the coil segments 16 is connected in serial with the variable condenser for resonance frequency adjustment, 13, as shown in Drawing 2(a), and hence, the capacitance of the circuit is a combined capacitance of those condensers connected in serial to each other. Therefore, the capacitance of those condensers needs to be determined so as to obtain the desired adjustable range of resonance frequencies.

#### [Examples]

The first practical example of this invention is described below using Drawings 1 – 4. In this example, a major component of plastic bombs, RDX (hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine, which has the NQR frequency of nitrogen nuclei of 5.2 MHz) was used as the substances to be detected.

Drawing 1 shows the configuration of the system in this example. Firstly, RF wave, which was generated by the base RF wave generator 1, and a square pulse, which was generated by the DC pulse generator 2, were together inputted into RF power amplifier 3 to generate a train of RF pulses having a pulse width of 200  $\mu$ sec, a pulse distance of 50 msec and a frequency of 3 kHz off the NQR frequency. Secondly, this train of pulses was inputted into the transmitting/receiving coil 5 via the tuning circuit 4, and then RF electromagnetic wave in a pulse form was irradiated onto the object to be inspected 6 which contained the substances to be detected 7.

Here, the tuning circuit 4 comprised a variable condenser for resonance frequency adjustment 13 and a variable condenser for impedance adjustment 14 (see Drawing 2). The former condenser adjusts the resonance frequency into the NQR frequency 5.2 MHz of the substances 7. The latter condenser adjusts the impedance into the impedance of RF power amplifier 3 and the low-noise amplifier 8.

The transmitting / receiving coil was a solenoid coil which had a diameter of 10 cm, the number of turns of 2, and was divided into 6 identical segments (denoted by 15 in Drawing 2) with 5 identical condensers inserted in series between the segments. The sum of capacitance values of the 5 condensers 16, and the variable condenser for resonance frequency adjustment 13 (see Drawings 1 & 2), were determined to be about 6 times larger than the capacitance of the variable condenser for resonance frequency adjustment 13 prior to segmentation of the coil (see Drawing 6), so that the combined series capacitance of the said 6 condensers was the same as that of the variable condenser for resonance frequency adjustment 13 prior to segmentation of the coil, and thus the

resonance frequency after segmentation of the coil became the same as that before the segmentation.

When the coil was divided in this manner, each coil segment (denoted by 15 in the drawing) has a small inductance value, which enables reduction of the voltage on each segment. At the same time, the capacitance of the variable condenser for resonance frequency adjustment, 14, is able to be increased without changing the resonance frequency, and thus the voltage on the variable condenser can be also reduced.

Drawing 2(a) shows the circuit of transmitting / receiving coil 5 including the tuning circuit 4. Due to the aforementioned results, the voltage distribution at each point of the circuit becomes as shown in Drawing 2(b). And hence, the voltage, which is applied over one coil (equivalent to the said coil segment 15) and the variable condenser for resonance frequency adjustment, 13, can be  $1/6$  of the voltage in Drawings 6(a) and (b) where the coil is not segmented.

As a result, the coil current can become 6 times higher than the conventional case, without causing electric discharge, and thus magnetic field can become 6 times stronger than the conventional case. This resulted in the magnetic field sufficiently strong to detect NQR signals at a distance of 20 cm between the transmission coil and the object. The curve B in the Drawing 3 shows the relation between the distance and the intensity of magnetic field for this example.

In Drawing 1, the electromagnetic wave, which was induced in the object 7 by irradiated RF pulses, was detected by the transmitting/receiving coil 5, and the detected signal was passed through the tuning circuit 4 and was amplified by the low-noise amplifier 8. The signal was further phase-detected by using the RF wave generated by the base RF wave generator 1, and then amplified again by the low-noise amplifier 10. The output of the amplified signal was added  $\sim 1024$  times by the digital calculator.

Drawing 4(a) shows the example of FID (free induction decay) signal detected in this manner, when the distance between the transmitting/receiving coil and the object was 20 cm. Figure 4(b) shows the power spectrum obtained by calculating Fourier transformation of FID signal by the data processor 12. The NQR signal of about 3 kHz in the substance 7 is thus detected and clearly distinguished from noise.

As explained above, according to this practical example, the coil current can become 6 times higher than the conventional case, without causing electric discharge, and thus magnetic field can become 6 times stronger than the conventional case. As a result, the distance for the magnetic field to be sufficiently strong to detect NQR signals can be increased from 10 cm to 20 cm, and the detection of substances 7 at the distance of 20 cm between the transmitting/receiving coil and the object is enabled.

Next, the second practical example of this invention is explained using the Drawing 3. It is to be noted that the difference between the first and the second examples is the

transmitting/receiving coil only, and hence the rest of the components will not be explained in the second example.

In the second example, the coil used as the transmitting/receiving coil was a solenoid coil with a diameter of 10 cm, which is the same as the first example, but with the number of turns of 12, which is 6 times more than the first example. In order to prevent the coil voltage from becoming 36 times higher, the coil was divided into 36 identical segments and 35 identical condensers were connected in serial between the segments. As a consequence, magnetic field became 6 times stronger with the same coil current without occurrence of electric discharge. As a result, the distance for the magnetic field to be sufficiently strong to detect NQR signals was increased from 10 cm to 20 cm, and the detection of substances 7 at the distance of 20 cm between the transmitting/receiving coil and the object was enabled. The relation between the distance and the intensity of magnetic field in this example is shown in Drawing 3 as the curve B.

Further, this example has an advantage over the first example; since the coil current does not have to be increased as in the first example, the parts of the circuit, such as the coil, the serial condensers connected to the segments of the coil, the variable condenser for resonance frequency adjustment, and the variable condenser for impedance adjustment, do not have to have a high current capacity.

Next, the third practical example of this invention is explained using the Drawing 3. It is to be noted that the difference between the first and the third examples is again the transmitting/receiving coil only, and hence the rest of the components will not be explained in the second example.

In the third example, the coil used as the transmitting/receiving coil was a solenoid coil with the number of turns of 2, which is the same as the first example, but with the diameter of 40 cm, which is 4 times more than the first example. In order to prevent the coil voltage from becoming 16 times higher, the coil was divided into 16 identical segments and 15 identical condensers were connected in serial between the segments. As a consequence, the intensity distribution of magnetic field became uniform and the magnetic field at a long distance from the coil became stronger for the same coil current without causing electric discharge. As a result, the distance for the magnetic field to be sufficiently strong to detect NQR signals was increased from 10 cm to 20 cm, and the detection of substances 7 at the distance of 20 cm between the transmitting/receiving coil and the object was enabled. The relation between the distance and the intensity of magnetic field in this example is shown in Drawing 3 as the curve C.

Further, this example again has an advantage over the first example: Since the coil current does not have to be increased as in the first example, the parts of the circuit, such as the coil and condensers do not have a high current capacity.

Moreover, this example has a further advantage over the first and second examples: Since the intensity distribution of magnetic field is uniform and the intensity of magnetic field near the coil is reduced (see the curve C in Drawing 3), the energy of magnetic field is

use more efficiently, and thus the output from the RF power amplifier in Drawing 1 can be smaller than in the first and second examples.

This example has yet another advantage over the other examples; Since the diameter of the coil is 40 cm and the cross section of the coil is as large as 1257 cm<sup>2</sup>, an object to be inspected 6 as large as up to 40 cm in diameter can be placed inside of the coil 5. As a result, detection is efficiently carried out by using the location where the magnetic field is the strongest and the NQR signals are the strongest, and hence the size of the device can be reduced.

Finally, the fourth practical example of this invention is explained using Drawing 5. In this example, a tuning circuit controller 17 is added to the device in the example 1, as shown in Diagram 5(a).

The tuning circuit controller plays the following roles: Firstly, it automatically controls the variable condenser for adjusting impedance 14, so as to make impedance coupling between the RF power amplifier 3 and the low-noise amplifier 8. Secondly, it automatically controls the variable condenser for resonance frequency adjustment 13, so as to maximize the NQR signals obtained by the digital calculator 11 or the data processor 12.

As a result, this example has an advantage over the first example; the impedance and the resonance frequency can be automatically adjusted so as to obtain the maximum NQR signals, even when the object to be inspected 6 is exchanged one after another and the impedance and the resonance frequency are accordingly changed.

In all of those four examples, the coil was divided into many identical segments and identical condensers were inserted between the segments. However, it is not essential for the segments to be identical to each other, or for the condensers inserted to be identical to each other. If they are not identical to each other, care should be taken so that electric discharge will not occur at the coil segments having the largest inductance or at the condenser having the smallest capacitance where the local voltage will become the highest.

Further, it is not essential that the variable condenser for resonance frequency adjustment 13 and the variable condenser for impedance adjustment 14 are composed of only one variable condenser. They can be substituted by swapping of many fixed condensers having various capacitance. Or, they can consist of a combination of fixed condensers and variable condensers connected in parallel. With this way, it is not necessary to use expensive variable condensers, or variable condensers having a narrow variable range can be used, which leads to the cost reduction of the device.

Further, the other substances rather than RDX in the above examples can also be detected, if the substances cause nuclear quadrupole resonance. For example, explosives such as TNT (tri nitro toluene), narcotics such as cocaine, stimulants, can be detected.



### [Effect of the Invention]

According to this invention, for remote detection of substances utilizing NQR, the distance between a transmitting/receiving coil and a substances to be detected, at which magnetic field is sufficiently strong to detect NQR signal, can be increased, without causing electric discharge in the coil. As a result, the detection of the substances can be carried out even when the object to be inspected such as luggage is large and the distance between the transmitting coil and the object becomes far.

### DESCRIPTION OF DRAWINGS

Drawing 1(a) is the configuration of the device described in Examples 1 – 3 of this invention.

Drawing 1(b) is the detailed circuit diagram of the tuning circuit and the transmitting/receiving coil in Example 1.

Drawing 2(a) is the circuit diagram of the tuning circuit and the transmitting/receiving coil in Example 1.

Drawing 2(b) is the voltage map at each point of Drawing 2(a).

Drawing 3 is the examples of intensity distribution of magnetic field showing the relation between the intensity of magnetic field and the distance from the transmission coil for different cases.

Drawings 4(a) and (b) are the examples of FID signal and the power spectrum, respectively, for the case when the distance between the coil and the substance was 20 cm.

Drawing 5(a) is the configuration of the device in Example 4.

Drawing 5(b) is the detailed circuit diagram of the tuning circuit and the transmitting/receiving coil in Example 4.

Drawing 6(a) is the circuit diagram of the conventional tuning circuit and the transmitting/receiving coil.

Drawing 6(b) is the voltage map at each point of Drawing 6(a).

In Drawing 1,

- 1 ... base RF wave generator
- 2 ... DC pulse generator
- 3 ... RF power amplifier
- 4 ... tuning circuit
- 5 ... transmitting/receiving coil
- 6 ... Object to be inspected
- 7 ... substance to be detected
- 8 ... low-noise amplifier
- 9 ... phase detector
- 10 ... low frequency amplifier
- 11 ... digital calculator
- 12 ... data processor
- 13 ... variable condenser for resonance frequency adjustment

- 14 ... variable condenser for impedance adjustment
- 15 ... coil segment
- 16 ... inserted condenser
- 17 ... tuning circuit controller
- 18 ... conventional transmitting/receiving coil

Y-axis of Drawing 2(b) ... voltage (arb. units)

X-axis of Drawing 3 ... distance from transmitting coil (cm)

Y-axis of Drawing 3 ... intensity of magnetic field (arb. units)

x-axis of drawing 4(a) ... time (msec)

y-axis of Drawing 4(a) ... signal intensity (arb. units)

x-axis of Drawing 4(b) ... frequency (kHz)

y-axis fo Drawing 4(b) ... signal intensity (arb. units)

y-axis of Drawing 6 ... voltage (arb, units)